



BAB 29

IOT (*INTERNET OF THINGS*) UNTUK EFISIENSI DAN EFEKTIVITAS KONSERVASI BENDA CAGAR BUDAYA DI BALAI PELESTARIAN SITUS MANUSIA PURBA SANGIRAN

IOT FOR CONSERVATION EFFICIENCY AND EFFECTIVITY OF CULTURAL HERITAGE IN BALAI PELESTARIAN SITUS MANUSIA PURBA SANGIRAN

Marlia Yuliyanti Rosyidah, Ariyanto, Pipit Puji Lestari, & Nurul Fadlilah

ABSTRACT

Internet of things (IoT) is a concept or program where an object has the ability to transmit the data over a network without using computers and humans. This IoT technology allows cultural heritage conservation activities to be carried out more effectively and efficiently. IoT technology helped with the preservation, tasks and functions especially the conservation of cultural heritage objects at Balai Pelestarian Situs Manusia Purba Sangiran in terms of temperature and humidity monitoring using sensors and transmitters. Temperature and humidity are indoor climate factors that could damage the cultural heritage collections if those were not controlled properly. In addition, IoT technology was also applied to monitoring museum support facilities using a QR (Quick Response) code and monitoring database. The stability of temperature and humidity is determined by the supporting facilities in the building where the cultural heritage objects are stored. Information on the actual condition of facilities for storing cultural heritage objects needs to be monitored periodically and handled quickly. The monitoring database allows the staff to monitor the room temperature and humidity in real-time. The application of IoT technology enables the acceleration of time in problem-solving, avoids the appearance of deterioration agents that endanger cultural heritage objects, and facilitates the collection of more detailed and accurate information to build big data since they are highly beneficial for formulating conservation program planning for cultural heritage objects.

Keywords: *IoT, Conservation, Cultural Heritage*

ABSTRAK

Internet of things (IoT) adalah suatu konsep atau program tentang sebuah objek yang memiliki

Marlia Yuliyanti Rosyidah*, Ariyanto, Pipit Puji Lestari, & Nurul Fadlilah

*Balai Pelestarian Situs Manusia Purba Sangiran, e-mail: marlia.yuliyanti@kemdikbud.go.id

© 2024 Penerbit BRIN

M. Y. Rosyidah, Ariyanto, P. P. Lestari, dan N. Fadlilah "IOT (*Internet of Things*) untuk efisiensi dan efektivitas konservasi benda cagar budaya di Balai Pelestarian Situs Manusia Purba Sangiran", dalam *Prosiding seminar nasional arkeologi 2021 "Teknologi di Indonesia dari masa ke masa"*, A. R. Hidayah, L. S. Utami, I. W. Sumerata, I. N. Rema, N. P. E. Juliwati, P. Y. Haribuana, G. Keling, I. A. G. M. Indria, dan N. Arisanti, Ed. Jakarta: Penerbit BRIN, September 2024, Bab 29, pp. 497–509, doi: 10.55981/brin.710.c1044, E-ISBN: 978-623-8372-95-9

kemampuan mentransmisikan atau mengirimkan data melalui jaringan tanpa menggunakan bantuan perangkat komputer dan manusia. Teknologi IoT memungkinkan konservasi terhadap cagar budaya dilaksanakan lebih efektif dan efisien. Tugas dan fungsi pelestarian, khususnya konservasi benda cagar budaya di Balai Pelestarian Situs Manusia Purba Sangiran, sangat terbantu oleh teknologi IoT dalam hal pemantauan suhu dan kelembapan dengan penggunaan sensor serta pemancar. Suhu dan kelembapan adalah faktor *indoor climate* yang dapat menyebabkan kerusakan koleksi cagar budaya jika tidak dikontrol secara baik. Selain itu, teknologi IoT juga diterapkan dalam pemantauan fasilitas pendukung museum dengan penggunaan *Quick Response (QR) code* dan *database monitoring*. Kestabilan suhu dan kelembapan sangat ditentukan oleh fasilitas pendukung dalam bangunan di mana benda cagar budaya disimpan. Informasi kondisi aktual fasilitas penyimpanan benda cagar budaya perlu dipantau secara periodik dan ditangani dengan cepat. *Database monitoring* memungkinkan sumber daya manusia yang bertanggung jawab dalam pelaksanaan konservasi dapat memantau kondisi ruangan secara langsung. Penerapan teknologi IoT memungkinkan percepatan waktu dalam penanganan masalah, menghindari munculnya *deteriorate agent* yang membahayakan benda cagar budaya, serta pengumpulan informasi yang lebih detail dan akurat untuk membangun *big data*. *Big data* sangat bermanfaat untuk menyusun perencanaan program konservasi benda cagar budaya.

Kata kunci: IoT, Konservasi, Benda Cagar Budaya

A. PENDAHULUAN

Internet of Things (IoT) merupakan sebuah konsep yang bertujuan memperluas manfaat dari konektivitas internet yang tersambung secara terus menerus. Suatu benda dikatakan IoT apabila terdapat pada suatu benda elektronik atau peralatan apa saja yang tersambung ke suatu jaringan lokal dan global melalui sensor yang tertanam dan selalu aktif (Lubis, Aulia, dan Haris 2018). Bidang aplikasi teknologi IoT sangat banyak dan beragam karena solusi yang ditawarkan teknologi IoT semakin banyak dan meluas ke hampir semua bidang kehidupan sehari-hari. Area yang banyak menggunakan IoT adalah *smart industry*, yaitu pengembangan sistem produksi cerdas dan lokasi produksi yang terhubung yang sering dibahas dalam era Industri 4.0. Rancangan rumah pintar atau area bangunan, termostat cerdas, dan sistem keamanan juga banyak menggunakan IoT. Selain itu, IoT juga diterapkan pada aplikasi energi pintar yang berfokus pada meteran pintar listrik, gas, dan air. IoT ini adalah solusi yang tepat untuk transportasi cerdas seperti pelacakan kendaraan dan mobile ticketing, bahkan untuk aplikasi di dunia kesehatan yang diterapkan pada manajemen pengawasan pasien dengan penyakit kronis (Wortmann dan Flüchter, 2015).

Penelitian ini memanfaatkan teknologi IoT untuk mengatasi salah satu masalah dalam pelestarian Cagar Budaya/Objek Diduga Cagar Budaya (CB/ODCB), yaitu pengendalian suhu dan kelembapan. Sesuai amanat Peraturan Pemerintah (Pemerintah Indonesia, 1995) pencegahan kerusakan dapat dilakukan dengan cara:

- 1) pengendalian terhadap suhu dan kelembapan;
- 2) pengaturan terhadap pencahayaan;

3) pengawetan.

Salah satu perangkat pendukung sensor pengukur suhu dan kelembapan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Arduino. Arduino merupakan rangkaian elektronika yang bersifat *open source* serta memiliki perangkat keras dan lunak yang mudah untuk digunakan. Arduino dapat mengendalikan lingkungan sekitarnya melalui berbagai jenis sensor dan dapat mengendalikan lampu, motor, serta berbagai jenis aktuator lainnya (Lubis et al., 2018).

Suhu dan kelembapan adalah variabel yang sangat penting dalam perawatan koleksi museum, terutama benda cagar budaya yang usianya sudah puluhan tahun. Suhu ialah besaran yang menyatakan derajat panas dingin suatu benda. Kelembapan merupakan suatu tingkat keadaan lingkungan udara basah yang disebabkan oleh adanya uap air. Tingkat kejenuhan sangat dipengaruhi oleh suhu. Semakin tinggi temperatur udara, semakin besar pula kelembapan. Kelembapan dapat diartikan dalam beberapa makna. Lagiyono (2012) dalam Indarwati et la., (2019) mengatakan, *relative humidity* secara umum mampu mewakili pengertian kelembapan.

Kondisi termal dalam bangunan (suhu, kelembapan, kecepatan angin, dan radiasi matahari) mempengaruhi kondisi termal di dalam bangunan. Dalam hal ini, pada akhirnya kondisi termal dalam bangunan dapat memengaruhi kondisi materi koleksi di ruang pameran. Kondisi termal juga memengaruhi kenyamanan pengunjung selama menikmati materi koleksi di ruang pameran. Suhu dan kelembapan udara dalam ruang pameran juga berkontribusi terhadap kerusakan bahan koleksi yang dipamerkan (Kusuma 2017). Tidak dimilikinya peralatan untuk mengontrol suhu oleh sebuah museum dapat menjadi penyebab kerusakan Benda Cagar Budaya, salah satu contohnya ditemukan di Museum Sang Nila Utama di Provinsi Riau (Butar-Butar, 2015)

Kelembapan dan temperatur ruangan sangat berpengaruh terhadap koleksi. Smithsonian Institute mempunyai panduan lingkungan museum. Untuk kelembapan relatif suhu yang dipertahankan adalah 45%+8% dan suhu 70°F+4°F (19°C—23°C) baik di ruang pameran maupun penyimpanan. Contoh koleksi yang sangat rentan terhadap pengaruh kelembapan yang tinggi adalah koleksi kayu, kertas, perkamen, dan tekstil. Kelembapan yang tinggi dapat menyebabkan retakan-retakan pada pada koleksi kayu dan lukisan (Mecklenburg, 2007).



Sumber: The National Gallery of Art Washington (2021)

Gambar 29.1 Retakan pada permukaan lukisan tahun 1420 yang berjudul *Madonna and Child Enthroned*.

Selain pada koleksi yang berbahan dasar organik, kerusakan akibat paparan dan fluktuasi kelembapan yang tinggi dapat juga terjadi pada koleksi paleontologi dan geologi, misalnya pada fosil. Salah satu masalah yang sering dijumpai pada fosil adalah oksidasi pirit yang dapat menyebabkan fosil menjadi rapuh, bahkan hancur. Oksidasi pirit dapat dikenali dari adanya sedimen berwarna kekuningan, abu-abu kehijauan dengan bau sulfur yang kuat, dan pH asam pada fosil. Hasil oksidasi pirit ini dapat menyebabkan fosil menjadi rapuh karena menghasilkan sedimen yang mengisi dan mendesak pori-pori fosil (Hodginson dan Martin, 2004).



Sumber: BPSMP Sangiran (2020)

Gambar 29.2 Oksidasi pirit yang menyebabkan fosil menjadi rapuh.

Buku ini tidak diperjualbelikan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa oksidasi pirit dapat dicegah/dihambat pada kelembapan di bawah 60%. Apabila spesimen mengandung banyak karbon organik, sangat diperlukan untuk menyimpan koleksi tersebut pada kelembapan di bawah 30% untuk menghambat kerusakan. Jerz dan Rimstidt (2004) memperkirakan oksidasi pirit mulai terjadi pada kelembapan di atas 31% dan meningkat 2 kali lipat setiap kenaikan 26% dari kelembapan relatif. Pada koleksi yang mengandung karbon organik dalam jumlah yang besar, reaksi oksidasi pirit mulai terjadi pada kelembapan kurang dari 50%.

Permasalahan mengenai pengaturan suhu dan kelembapan bukan hanya ada pada tingginya suhu dan kelembapan, melainkan juga untuk pencegahan agar fluktuasi suhu dan kelembapan yang dapat merugikan koleksi tidak terjadi. Misalnya, lukisan yang ditempatkan pada kelembapan fluktuatif antara 95%—35% menunjukkan kerusakan pada lapisan catnya (Mecklenburg, 2007). Untuk itu diperlukan sistem pengaturan suhu dan kelembapan yang dapat digunakan untuk mengetahui tingkat kelembapan dan suhu ruangan serta menjaga agar tingkat kelembapan dan suhu selalu berada pada kisaran yang optimal untuk koleksi yang sekaligus dapat mencegah terjadinya fluktuasi suhu dan kelembapan yang terlalu tinggi.

Suhu dan kelembapan dapat dipantau dengan menggunakan peralatan pencatat, seperti *data logger*. Untuk menjaga fluktuasi suhu dan kelembapan, *air conditioner* (AC) dapat digunakan untuk ruangan yang luas, sedangkan *silica gel* untuk tempat penyimpanan koleksi yang tidak terlalu luas. Penggunaan *data logger* sebagai pemantau iklim mikro koleksi memiliki kelemahan antara lain: *data logger* menggunakan sumber daya baterai. Jadi, ketika baterai habis, secara otomatis perekaman data iklim mikro terhadap koleksi juga terhenti. Oleh karena itu, dibutuhkan solusi, misalnya dengan sumber listrik isi ulang yang memiliki daya tahan lama.

Selain *data logger*, penggunaan teknologi IoT juga memudahkan pemantauan suhu dan kelembapan. Penerapan teknologi IoT memungkinkan percepatan waktu dalam penanganan masalah, menghindari munculnya *deteriorate agent* yang membahayakan benda cagar budaya, serta pengumpulan informasi yang lebih detail dan akurat.

B. METODE

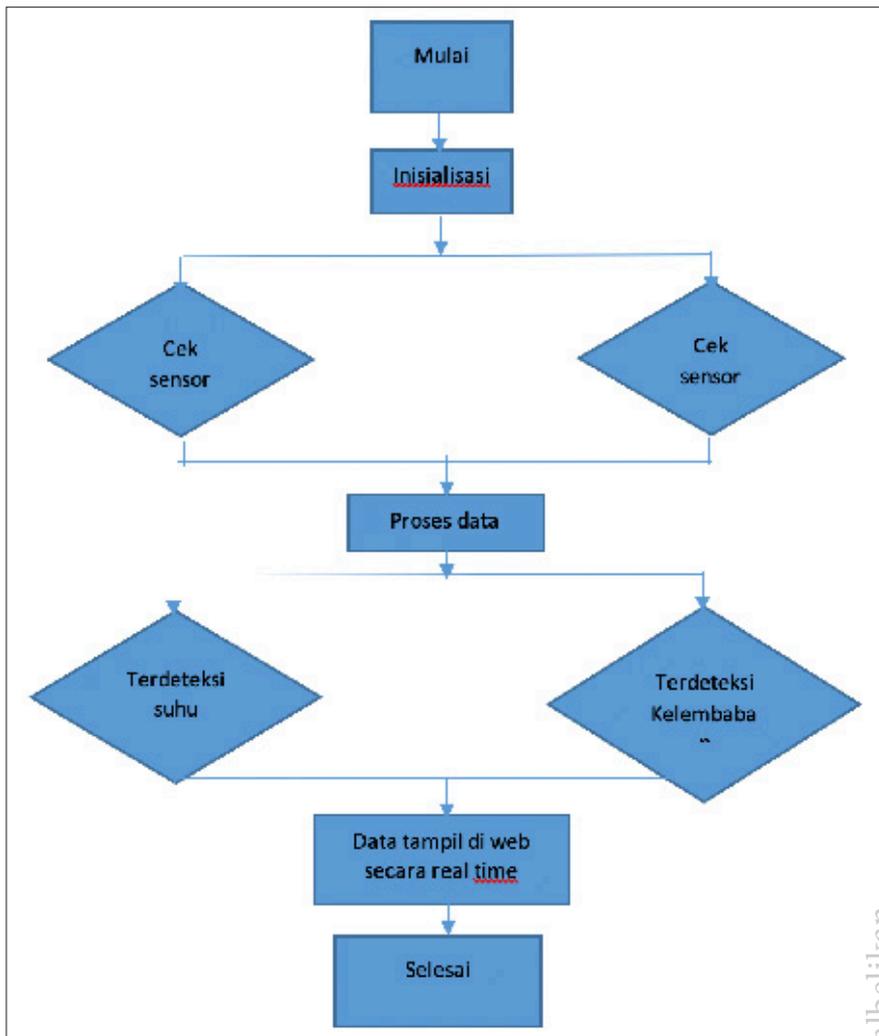
Kajian ini menggunakan metode penelitian dan pengembangan (*research and development*). Sugiyono (dalam Haryati, 2012) berpendapat bahwa metode penelitian dan pengembangan ialah metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu dan menguji keefektifannya. Suatu penelitian yang bersifat analisis kebutuhan (menggunakan metode survei yang bersifat kualitatif), dibutuhkan untuk dapat menghasilkan produk tertentu, sedangkan penelitian untuk menguji efektivitas produk tersebut dapat menggunakan metode eksperimen. Tahapan dalam penelitian ini meliputi:

- 1) Pengumpulan data melalui observasi untuk menemukan permasalahan dalam konservasi cagar budaya di BPSMPS, terutama objek yang terancam rusak oleh faktor yang dapat memicu *deteriorate agent*, yaitu suhu dan kelembapan yang kurang tepat. Selain itu, juga dilakukan studi literatur untuk menjadi pembandingan dengan hasil penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya.
- 2) Rancangan produk berupa alat *data logger* suhu dan kelembapan “Sule” menggunakan mikrokontroler Arduino uno Atmega 328p, ditampilkan pada LCD 16x2 dengan menggunakan aplikasi berbasis web dengan *framework codeigniter* 3, dan bahasa pemrograman PHP. Server yang digunakan adalah Linux Ubuntu 14.04. Data yang diperoleh kemudian disimpan di pangkalan data melalui program MYSQL.
- 3) Validasi rancangan dengan membandingkan hasil pengukuran *data logger* Sule dengan alat pengukur suhu dan kelembapan manual. Pengukuran menggunakan 2 jenis *data logger*, yaitu “Sule” dan “*Extech Humidity/Temperature Datalogger Rht20 Ex0000072*” dilakukan selama tiga hari di dalam *storage* Museum Manusia Purba Sangiran. Interval pengukuran diambil dalam rentang 10 menit. Hasil pengukuran dibandingkan untuk melihat perbedaan kedua alat tersebut.
- 4) Revisi rancangan yang berarti memperbaiki sistem sesuai dengan hasil pengujian.
- 5) Uji coba desain untuk mengetahui efektivitas dan efisiensi dalam mengatasi permasalahan. Efektivitas dan efisiensi dianalisis secara deskriptif kualitatif berdasarkan pengalaman pengguna.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Rancangan Alat Pengukur Suhu dan Kelembapan Sule

Berikut ini adalah rancangan alur kerja alat pengukur suhu dan kelembapan yang menggunakan sensor suhu dan kelembapan udara GY-BME280 dan mikrokontroler Arduino uno Atmega 328p (lihat Gambar 29.3). Sensor GY-BME280 memiliki rentang operasional suhu -40°C hingga $+85^{\circ}\text{C}$ dengan kelembapan 0–100%. Koneksi rancangan alat pengukur dan kelembapan ini menggunakan Kabel UTP, konektor RJ45, dan Arduino Ethernet Shield. Rangkaian ini menggunakan sumber energi berupa *Battery Management System* (BMS) 2S yang memberikan proteksi *overcharge*, proteksi *over discharge*, proteksi hubung singkat, dan proteksi arus lebih.



Sumber: Marlia Yuliyanti Rosyidah (2021)

Gambar 29.3 Alur Kerja Alat Sensor Suhu dan Kelembaban Sule

Proses diawali dengan pengenalan kondisi udara oleh sensor suhu dan kelembapan. Sebagai bagian inti dari proses ini, sensor memiliki peran penting dalam mengubah kuantitas yang diperoleh dari alam (bersifat analog) menjadi kuantitas yang dapat diproses oleh komputer (bersifat digital). Menurut Saptadi (2015), sensor menentukan seberapa tepat hasil yang diperoleh bila dibandingkan dengan pengukuran yang sebenarnya melalui instrumen ukur. Pengolahan data selanjutnya dilakukan oleh mikrokontroler sehingga terdeteksi nilai suhu dan kelembapan. Nilai yang terdeteksi ditampilkan pada layar LCD Sule dan dikirimkan ke server serta ditampilkan pada web secara langsung.

2. Validasi Rancangan

Setiap alat memiliki tingkat resolusi dan akurasi masing-masing. *Extech Humidity/Temperature Datalogger Rht20 Ex0000072* memiliki spesifikasi: rentang pengukuran suhu -10°C – 40°C dengan tingkat akurasi $\pm 1^{\circ}\text{C}$ dan resolusi $0,1^{\circ}\text{C}$, rentang pengukuran kelembapan relatif 0% – 100% dengan tingkat akurasi $\pm 5.0\%$ dan resolusi $0,1\%$. Spesifikasi bawaan sensor Sule, memiliki resolusi suhu sebesar $0,01^{\circ}\text{C}$, kelembapan $0,008\%$, dan ketepatan suhu $\pm 1^{\circ}\text{C}$, kelembapan $\pm 3\%$. *Data logger Extech* merupakan alat buatan pabrik yang telah melewati tahapan *quality control* setelah diproduksi, sedangkan *data logger Sule* merupakan hasil rakitan sendiri. Sule menggabungkan teknologi sensor dan informasi sehingga hasilnya dapat diakses dari mana dan kapan saja. Oleh karena itu, *Data logger Extech* digunakan sebagai *quality control* untuk menjamin keakuratan hasil pengukuran. Berikut adalah hasil pengukurannya.

Tabel 29.1 Hasil pengukuran suhu dan kelembapan menggunakan *Data logger Sule* dan *Extech Rht20*

Suhu rata-rata (n=15)		Kelembapan rata-rata (n=15)	
<i>Data logger Sule</i>	<i>Data logger Extech Rht20</i>	<i>Data logger Sule</i>	<i>Data logger Extech Rht20</i>
19,24467	18,96667	59,98%	70,58%

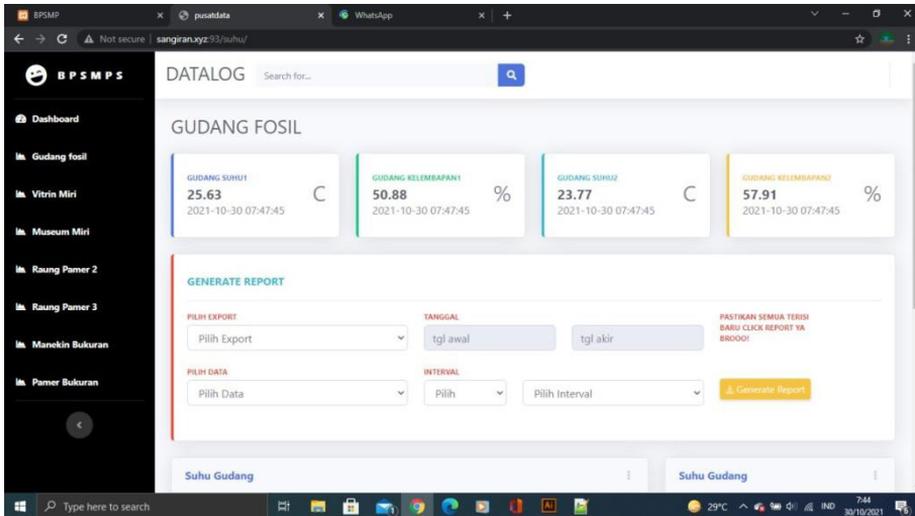
Berdasarkan data di atas, selisih suhu yang diperoleh sebesar $0,278^{\circ}\text{C}$ dan selisih pengukuran kelembapan sebesar $10,60\%$. Hasil tersebut menunjukkan sensor suhu *Data logger Sule* masih dalam rentang akurasi pengukuran *Data logger Extech*. Namun, untuk kelembapan, *Data logger Sule* 5% lebih rendah dari rentang pengukuran *Data logger Extech*. Perbedaan pada kelembapan perlu diteliti lebih lanjut dengan memperhatikan lingkungan mikro yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran. Prototipe Sule dapat dilihat pada Gambar 29.4.



Sumber: Marlia Yuliyanti Rosyidah (2021)

Gambar 29.4 Prototipe *Data Logger* Pengukur Suhu dan Kelembapan Sule

Hasil pengukuran yang muncul pada perangkat Sule juga dapat ditampilkan pada web (lihat Gambar 29.5). Selain menampilkan hasil pengukuran suhu dan kelembapan, selama 24 jam data rekaman hasil pengukuran dapat diunduh dengan interval sesuai kebutuhan baik untuk kepentingan pelaporan maupun kebutuhan analisis.



Sumber: Sangiran (2021)

Gambar 29.5 Tampilan hasil pengukuran suhu dan kelembapan Sule pada laman web yang dapat dibuka pada PC dan ponsel.

3. Revisi Rancangan

Apabila perbedaan nilai kelembapan pada perbandingan hasil pengukuran dengan dua jenis *data logger* sudah diketahui, revisi rancangan dilakukan untuk memperkecil selisih nilai. Revisi rancangan dilakukan dengan mengganti tipe sensor dan penambahan mekanisme loading data pada tampilan daring (*website*). Sebelumnya, sensor yang digunakan adalah tipe DHT22. Pada bagian web ditambahkan *autoload* tampilan data suhu dan kelembapan agar informasi muncul secara otomatis tanpa harus *me-refresh* secara manual.

Suatu penelitian yang membandingkan kinerja sensor jenis DHT11 dengan DHT22 menemukan bahwa setelah seluruh pengukuran kelembapan dilakukan, baik DHT11 maupun DHT22—dengan hasil berupa galat relatif di atas 10%—mengindikasikan perlunya kalibrasi ulang. Perbedaan lokasi (di dalam atau di luar ruangan) dan platform yang digunakan (AVR atau Arduino), tidak berpengaruh terhadap hasil pengukuran. Seluruh hasil pengukuran kelembapan menunjukkan galat di atas 10% dan pengukuran suhu berkisar 1–7% (Saptadi, 2015).

4. Uji Coba untuk Melihat Efektivitas dan Efisiensi

Pengertian efisiensi menurut (Indrayani, 2012) ialah suatu ukuran dalam membandingkan penggunaan masukan yang direncanakan dengan penggunaan masukan yang sebenarnya terlaksana. Apabila masukan yang sebenarnya digunakan semakin besar penghematannya, tingkat efisiensi semakin tinggi dan sebaliknya. Efektivitas merupakan suatu ukuran yang memberikan gambaran seberapa jauh target dapat tercapai. Pengertian efektivitas ini lebih berorientasi kepada keluaran sedangkan masalah penggunaan masukan kurang menjadi perhatian utama.

Sule digunakan untuk memantau objek CB/ODCB fosil yang mempunyai sensitivitas terhadap suhu dan kelembapan. Sebelumnya, koleksi fosil yang mengalami kerusakan akibat *pyrite* pada suhu dan kelembapan tertentu telah dijelaskan. Sangat penting untuk memantau nilai suhu dan kelembapan meskipun di dalam sebuah ruangan sudah terdapat *Air Conditioner* (AC).

Penurunan tegangan listrik atau mati listrik dapat menjadi faktor perubahan suhu dan kelembapan. Selain itu, untuk pengamatan jangka panjang, terkadang letak suatu koleksi CB/ODCB turut menjadi faktor yang memengaruhi suhu dan kelembapan. Uji coba dilakukan oleh pengguna yang terdiri dari konservator dan analis. Mereka melakukan kajian terhadap kerusakan CB/ODCB fosil oleh *pyrite*. Setelah menggunakan alat tersebut, diperoleh beberapa perbandingan kondisi seperti pada Tabel 29.2.

Tabel 29.2 Perbandingan Aktivitas Pemantauan Suhu dan Kelembapan

Sebelum menggunakan Sule	Setelah menggunakan Sule
Pengamatan suhu dan kelembapan secara manual.	Pengamatan suhu dan kelembapan melalui daring (<i>website</i>) sehingga dapat diakses dari manapun.
Pemantauan suhu dan kelembapan terbatas pada jam kerja kantor.	Pemantauan suhu dan kelembapan dapat dilakukan selama 24 jam.
Tidak bisa secara otomatis menyimpan data.	Secara otomatis dapat menyimpan data sesuai interval yang diharapkan.
Faktor pemicu <i>deterioration agent</i> berupa suhu, kelembapan, dan fluktuasi kurang terkontrol.	Faktor pemicu <i>deterioration agent</i> (<i>pyrite</i>) berupa suhu, kelembapan, dan fluktuasi terkontrol.

Perangkat Sule masih dalam tahap prototipe sehingga perlu pengujian efektivitas dan efisiensi menggunakan parameter lain yang lebih terukur. Sekalipun begitu, perangkat ini sangat membantu proses perawatan objek CB/ODCB, baik yang tersimpan di ruang pameran maupun *storage*. Perangkat ini sangat berpotensi untuk dikembangkan dan diintegrasikan dengan beberapa produk inovasi yang telah dirintis di BPSMPS. Produk inovasi tersebut antara lain: koleksi pangkalan data dan

monitoring serta sistem aplikasi BMN (Barang Milik Negara) yang menggunakan QR code. Inovasi pada *Internet of Things* ditandai dengan kombinasi komponen fisik dan digital untuk menciptakan produk baru dan model baru. Yoo et al. (dalam Wortmann dan Flüchter, 2015) mengatakan, berkat manajemen daya yang semakin efisien, komunikasi *broadband*, memori yang andal, dan kemajuan dalam teknologi mikroprosesor, Pada intinya, inovasi di dalam *Internet of Things* ditandai dengan kombinasi komponen fisik dan digital untuk menciptakan produk dan model yang baru. Melalui manajemen daya yang semakin efisien, komunikasi *broadband*, memori yang andal, dan kemajuan dalam teknologi mikroprosesor, memungkinkan untuk mendigitalkan fungsi dan kemampuan pada era industri produk (Yoo et al. 2010) dalam (Wortmann dan Flüchter, 2015).

Penelitian dari Saban et al. (2021) mengusulkan komunikasi *Bluetooth Low Energy* sebagai alternatif untuk sambungan nirkabel pada perangkat pengukuran kelembapan kayu. Pengujian menunjukkan bahwa perangkat baru mampu mengonsumsi 80% lebih sedikit daya daripada perangkat lama, namun tetap menjaga kinerja dan akurasi yang sama. Untuk membuatnya portabel, sirkuit baru ini dilengkapi dengan sirkuit tambahan untuk catu daya baterai.

D. KESIMPULAN

Data logger Sule merupakan rangkaian sensor pengukur suhu dan kelembapan yang terintegrasi dalam jaringan internet sehingga dapat dikelola untuk mendapatkan lebih banyak manfaat. Hasil validasi pengukuran menggunakan Sule, dibandingkan dengan *Data logger* Extech Rht20 menunjukkan perbedaan yang masih berada dalam rentang toleransi pengukuran suhu, yaitu 1°C. Sementara itu, pada pengukuran kelembapan relatif menunjukkan 5% di bawah toleransi Extech Rht20. Hasil tersebut dapat menjadi rekomendasi uji coba pengukuran dengan variasi lingkungan pengukuran serta perbandingan alat ukur suhu dan kelembapan lainnya.

Alat pengukur suhu dan kelembapan yang berbasis IoT sangat membantu kegiatan konservasi koleksi CB/ODCB yang rentan dengan suhu dan kelembapan. Informasi data secara langsung yang mempercepat pengambilan keputusan penanganan CB/ODCB. Data yang dihasilkan dengan interval dan jangka waktu tertentu merupakan informasi yang sangat berharga dalam pengendalian iklim dalam ruangan (*indoor climate*). Data ini juga membantu kajian yang mengamati fluktuasi suhu dan kelembapan. Berikut ialah perolehan efisiensi dan efektivitas penggunaan teknologi IoT.

- 1) Efisiensi waktu dan biaya yang dibutuhkan dalam pemantauan suhu dan kelembapan. Waktu yang dibutuhkan lebih hemat karena pengamatan dapat dilakukan secara daring tanpa harus mendatangi lokasi penyimpanan koleksi CB/ODCB. Selain itu, biaya yang dibutuhkan untuk menyusun rangkaian, tidak terlalu mahal.

- 2) Efektivitas adalah ketersediaan data suhu dan kelembapan udara yang *real-time*, dapat diunduh sesuai kebutuhan. Hal ini sangat berguna untuk menentukan langkah mitigasi yang harus segera diambil bila terjadi anomali suhu dan kelembapan untuk mencegah kerusakan lebih lanjut akibat suhu dan kelembapan yang tidak sesuai untuk perawatan CB/ODCB.

E. SARAN

Melakukan inovasi alat Sule, pada pengaturan interval data ke server yang masih menggunakan *source code* Arduino Ide dengan *interface* yang lebih mudah. Selain itu, perlu uji coba dalam kondisi jaringan internet yang kurang stabil, untuk melihat kebutuhan penyimpanan data cadangan atau penggunaan media transfer data yang lain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Kepala BPSMPS yang sudah menyediakan fasilitas dalam melaksanakan kajian ini. Selain itu, kami mengucapkan terima kasih kepada tim konservasi BPSMPS yang memberikan dukungan dalam pelaksanaan kajian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Butar-Butar, Martina. 2015. "Pelestarian Benda Cagar Budaya di Objek Wisata Museum Sang Nila Utama Provinsi Riau". *Jom FISIP*, 1-13.
- Haryati, Sri. 2012. "Research and Development Sebagai Salah Satu Model Penelitian dalam Bidang Pendidikan". *Majalah Ilmiah Dinamika* 37(1), 15.
- Hodginson, E. S dan S. Martin. 2004. "Curation history and mineralisation of highly degraded pyrite fossil collection". Internal Report IR/04/037. 34pp. Keyworth, Nottingham: British Geological Survey
- Indarwati, Sri, Sri Mulyo Bondan Respati dan Darmanto. 2019. "Kebutuhan Daya Pada Air Conditioner Saat Terjadi Perbedaan Suhu Dan Kelembapan". *Momentum*, Vol. 15, No. 1, April 2019, Hal. 91-95. ISSN 0216-7395.
- Indrayani, Henni. 2012. "Penerapan Teknologi Informasi dalam Peningkatan Efektivitas, Efisiensi dan Produktivitas Perusahaan." *Jurnal El-Riyasah: Jurnal Kepemimpinan & Administrasi* 3 (1) : 48. <https://doi.org/10.24014/jel.v3i1.664>.
- Kusuma, Heru Budi. 2017. Kenyamanan Termal Pada Ruang Pameran Tetap Di Museum Nasional Indonesia – Jakarta. *Jurnal Muara Ilmu Sosial, Humaniora, dan Seni* ISSN 2579-6348 (Versi Cetak) Vol. 1, No. 2, Oktober 2017: hlm 500-510 ISSN-L 2579-6356 (Versi Elektronik)
- Lubis, Abdul Jabbar, Rachmat Aulia, dan Haris Haris. 2018. "Monitoring Suhu udara Kawasan Gunung Aktif berbasis IoT." *Jurnal Teknologi Dan Ilmu Komputer Prima* 1 (1) : 115–22. <https://doi.org/10.34012/jutikomp.v1i1.338>.
- Mecklenburg, Marion. 2007. "Determining the Acceptable Ranges of Relative Humidity And Temperature in Museums and Galleries". Smithsonian Libraries and Archives.

- Saban, Mohamed, Leandro D. Medus, S. Casans, Otman Aghzout, dan A. Rosado. 2021. "Sensor Node Network for Remote Moisture Measurement in Timber Based on Bluetooth Low Energy and Web-Based Monitoring System." *Sensors* 21 (2) : 491. <https://doi.org/10.3390/s21020491>.
- Sangiran, B. (2020). Laporan Kajian Konservasi Pada Koleksi Fosil yang Teroksidasi oleh Pirit. Sragen: Balai Pelestarian Situs Manusia Purba Sangiran.
- Saptadi, Arief Hendra. 2015. "Perbandingan Akurasi Pengukuran Suhu dan Kelembaban Antara Sensor DHT11 dan DHT22 Studi Komparatif pada Platform ATMELE AVR dan Arduino." *Jurnal Infotel* 6 (2). <https://doi.org/10.20895/infotel.v6i2.73>.
- Washington, T. N. (2021, 07 22). The National Gallery of Art Washington. Retrieved from National Gallery of Art: <https://www.nga.gov/collection/art-object-page.396.html>
- Wortmann, Felix, dan Kristina Flüchter. 2015. "Internet of things." *Business & Information Systems Engineering* 57 (3) : 221–24. <https://doi.org/10.1007/s12599-015-0383-3>.